LE POINT EN RECHERCHE

Série technique 00-138

ÉVALUATION DU RENDEMENT DES MURS À OSSATURE D'ACIER PARÉS DE BRIQUE

Introduction

Très utilisée au cours des vingt dernières années dans la construction d'immeubles résidentiels de grande hauteur, l'ossature d'acier est une technique économique nécessitant peu d'espace, conçue pour servir d'appui au placage de brique des murs extérieurs. Toutefois, sa performance s'avère insatisfaisante, notamment en ce qui a trait à l'humidité et à ses effets sur la durabilité de l'ossature. Doit-on attribuer ce phénomène à une conception ou à une construction négligente, ou s'agit-il plutôt d'un problème inhérent inévitable?

Au moment d'amorcer la présente étude, la SCHL avait parrainé des recherches approfondies en laboratoire et sur le terrain, et préparait un guide sur les règles de l'art fondé sur les résultats de recherche, proposant diverses améliorations à apporter aux méthodes d'exécution. Une certaine controverse existait (et existe encore) concernant ces recommandations. Quelles améliorations, le cas échéant, étaient absolument nécessaires? Obtiendrait-on une performance satisfaisante en respectant soigneusement un devis-cadre?

Programme de recherche

L'objet des recherches, dont les constatations sont résumées dans le présent document, est une section du mur extérieur d'un immeuble de sept étages construit en 1990 situé à Ottawa. Des capteurs ont été installés et au dernier étage à divers points stratégiques à l'intérieur et à l'extérieur du mur pour mesurer la température, la pression de l'air et l'humidité. La teneur en humidité totale est obtenue en calculant l'humidité de l'air, la présence d'eau sur les surfaces et l'eau absorbée par les matériaux. Le mur d'essai était exposé aux vents dominants par temps froid. Il en résultait que par temps froid, les pressions combinées des mouvements de l'air, du vent et de la ventilation favorisaient la fuite de l'air. De plus, l'exposition du mur au vent durant les fortes pluies favorisait la formation d'humidité causée par la pluie et les fuites de l'air par temps froid, provoquant la formation de condensation. Cet immeuble a été choisi parce que les concepteurs, les entrepreneurs et le propriétaire ont accepté d'y participer.

Préalablement à la construction du mur, certaines lacunes du plan proposé, non conformes aux règles de l'art, ont fait l'objet

SCHL CMHC

AU COEUR DE L'HABITATION

Canada

de discussions. Suite à ces discussions, une seule modification a été apportée : les services d'un ingénieur ont été retenus pour concevoir l'ossature et préparer les dessins d'atelier.

Le mur était constitué des éléments suivants :

- Placage en maçonnerie de brique de 90 mm
- Cavité de 25 mm
- Papier de construction
- Revêtement intermédiaire de plâtre
- Poteaux d'acier de 150 mm
- Natte isolante dans l'espace des poteaux
- Pare-vapeur de polyéthylène
- Plaques de plâtre d'intérieur

La cavité fut recouverte d'un solin et drainée, mais ne fut pas compartimentée. Les chants de dalle à l'intérieur de la cavité furent isolés, réduisant la profondeur de la cavité à ces endroits.

L'ossature d'acier était constituée des éléments suivants :

- Poteaux : 150 x 38 mm 1,53 mm à entre axes de 600 mm, galvanisés Z275
- Attaches : 2 pièces, avec plaques d'ancrage en C à fentes fixées à l'âme des poteaux à entre axes de 400 mm, avec attaches métalliques de 4,5 mm de diamètre, galvanisées par immersion à chaud fixant le placage au revêtement.

Le rapport sur la phase 1 présente des détails additionnels sur la construction ainsi que des photographies du mur en construction.

Les chercheurs ont observé la construction du mur et constaté qu'elle se conformait généralement au plan. L'exécution était de qualité supérieure. Des thermocouples et des capteurs d'humidité et de pression ont été raccordés à un système informatique de cueillette des données. La **photographie n° 3** montre les éléments composant le mur : poteaux, isolant et pare-vapeur.

Durant l'installation du mur, les données, enregistrées chaque minute au cours de diverses périodes de 14 jours de l'hiver 1991 à l'été 1997, ont permis d'établir des moyennes horaires ainsi que les maximums et les minimums. Aux fins d'analyse, les données météorologiques de l'aéroport local ont également été enregistrées.

Au début de la phase 4 (d'octobre 1996 à juillet 1997), on a pratiqué des orifices d'aération en retirant le mortier à tous les deux joints de tête de l'assise de briques supérieure.

Résultats et analyse

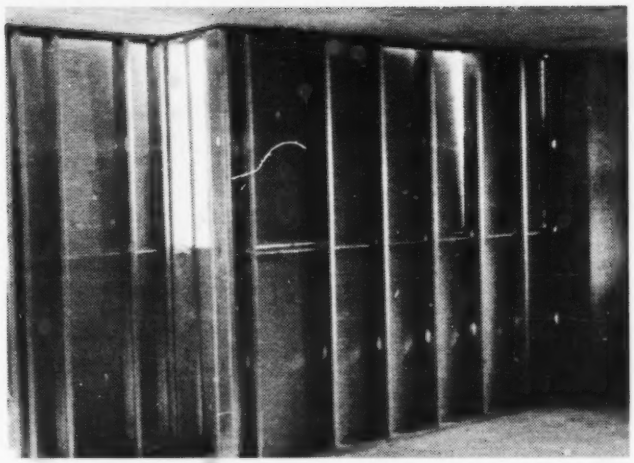
Ponts thermiques

Les thermocouples fixés aux âmes des poteaux ont enregistré des températures qui différaient de celles relevées à mi-chemin entre les poteaux près des surfaces de revêtement correspondantes. La **figure 1** montre le profil de température à l'intérieur du mur à la hauteur d'un poteau d'ossature. La **figure 2** montre le profil à mi-chemin entre les poteaux pour la même période.

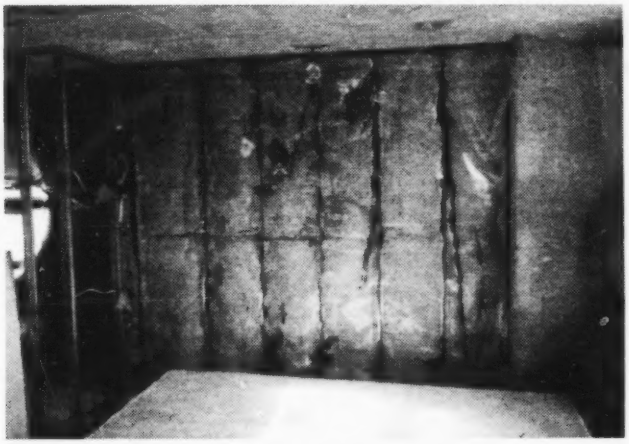
L'écart de température dans l'espace des poteaux est plus élevé à mi-chemin entre les poteaux que près des poteaux. L'espace des poteaux près de ces derniers contribue à environ la moitié de l'écart total, tandis qu'à mi-chemin entre les poteaux, il est responsable du deux-tiers aux trois-quarts de l'écart de température total. Puisque la résistance thermique de l'ensemble des autres composants (le pare-vapeur et le pare-air, les plaques de plâtre, la brique et la cavité) demeure constante, on peut déduire qu'il existe d'importants ponts thermiques. À des températures de -20 °C, la température du côté intérieur du mur était de 3,5 °C inférieure près des poteaux, comparativement à la température à mi-chemin entre les poteaux. Des traces de poussières révélant l'emplacement des poteaux (et parfois des vis fixant les plaques de plâtre) sont apparues après la première année, comme on peut le constater sur la **photographie n° 5**.

Écarts de pression

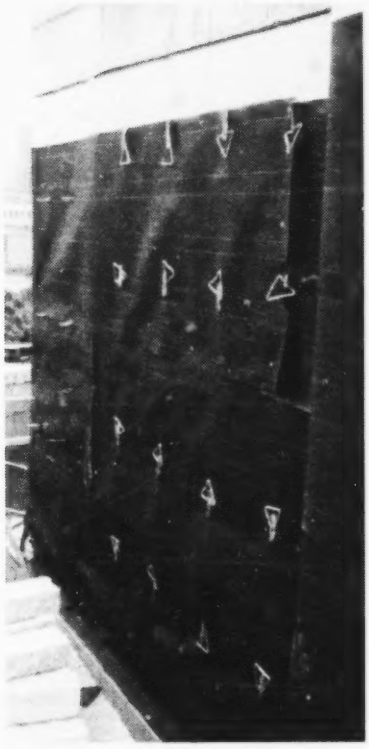
On a placé des capteurs de pression à l'extérieur du mur, dans la cavité, dans l'espace des poteaux et à l'intérieur. La **figure 3** montre que dans des conditions hivernales typiques, la pression à l'intérieur était habituellement supérieure à celle à l'extérieur. Le vent soufflant contre le mur contribuait à réduire l'écart de pression, de manière insuffisante toutefois pour le renverser, tandis qu'un vent soufflant en direction opposée l'augmentait. Le graphique montre également que la pression dans la cavité derrière la brique est contrôlée, mais pas équilibrée. En outre, surtout en hiver, la pression moyenne horaire de la cavité à cet endroit était habituellement plus élevée que si la cavité avait été compartimentée et que l'équilibrage de la pression avec l'extérieur avait été ajusté. On a constaté deux écarts de pression importants, le premier dans l'espace des poteaux, le second contre le placage de brique. La magnitude relative variait, mais parfois l'écart de pression contre le placage de



Photographie 1 : Ossature et revêtement mural intermédiaire
Le revêtement intermédiaire n'est pas encore rattaché à l'ossature. En ce qui a trait à l'ensemble de l'ouvrage, le revêtement intermédiaire constitue la partie la moins étanche du mur en raison des espaces de joints.



Photographie 3 : Isolation et pare-vapeur
Le pare-vapeur chevauché en polyéthylène et les intersections avec le béton sont étanches. Les prises de courant ont été pourvues de boîtes arrières en polyéthylène et les autres ouvertures ont été rendues étanches. Puisque le pare-vapeur du mur sert également de pare-air, l'étanchéité du pare-vapeur est suffisante.



Photographie 2 : Papier de revêtement et attaches de maçonnerie
Le papier de revêtement est chevauché pour favoriser le drainage. Par contre, il ne s'avère pas une barrière efficace contre les exfiltrations d'air. Un isolant extrudé rigide en polystyrène recouvre l'extérieur de la colonne cornière. Au bas de la cavité, l'isolant rigide sur le chant de dalle (recouvert de papier sur la photo) surpasse l'extérieur du plan de mur, ce qui réduit la cavité au sol.

Figure 1 : Profil de température près des poteaux

Courbe 1 : (courbe supérieure) côté intérieur des plaques de plâtre
Courbe 2 : bord extérieur du poteau d'acier
Courbe 3 : côté extérieur du revêtement
Courbe 4 : (courbe inférieure) air extérieur

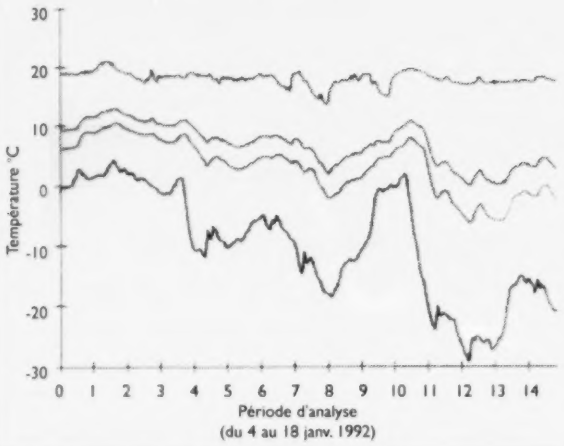


Figure 2 : Profil de température près de l'isolation

Courbe 1 : (courbe supérieure) côté intérieur des plaques de plâtre
Courbe 2 : surface du revêtement près de l'isolant
Courbe 3 : côté extérieur du revêtement
Courbe 4 : (courbe inférieure) air extérieur

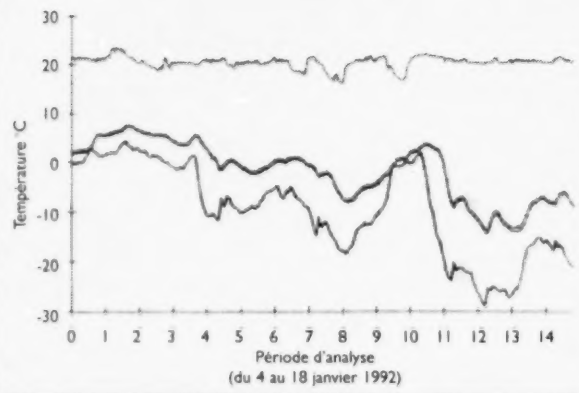


Figure 3 : Écarts de pression moyens horaires (avant modifications à l'aération)

Courbe 1 : (courbe supérieure) air intérieur / espace des poteaux
Courbe 2 : air intérieur / cavité
Courbe 3 : (courbe supérieure) air intérieur / extérieur

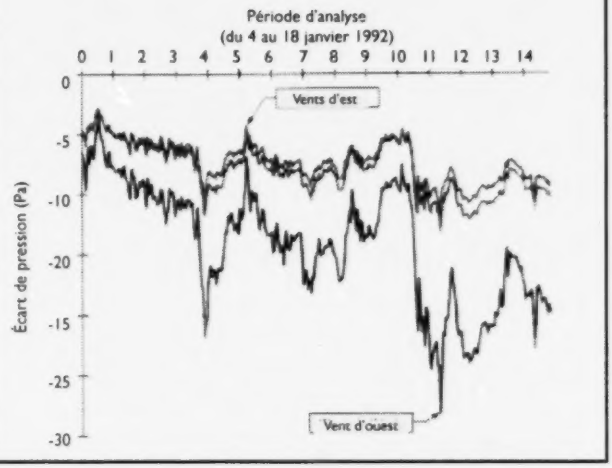
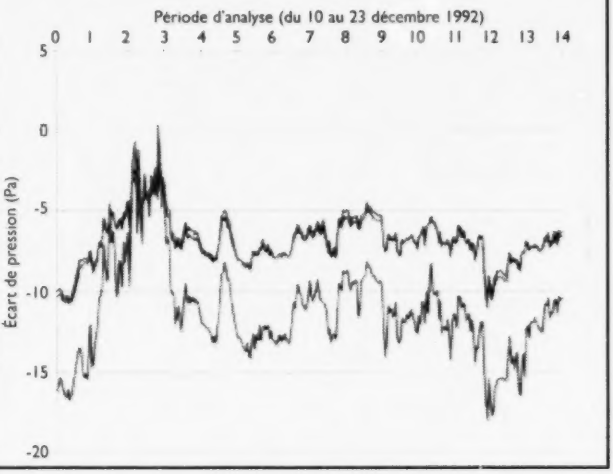


Figure 4 : Écarts de pression moyens horaires (après modifications à l'aération).

Courbe 1 : (courbe supérieure) air intérieur / espace des poteaux
Courbe 2 : air intérieur / cavité
Courbe 3 : (courbe supérieure) air intérieur / extérieur



brique était supérieur à l'écart de pression ailleurs près du mur. La poussière déposée sur l'isolant, comme le révèle la **photographie n° 4**, constitue une preuve additionnelle de la présence de fuites d'air.

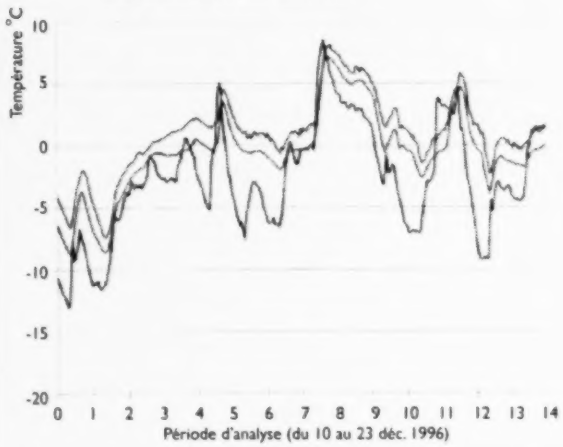
La **figure 4** montre que la résistance du placage de brique est demeurée substantielle malgré l'ajout d'orifices d'aération. La contribution de la brique à la résistance à l'écoulement de l'air est passée de la moitié au tiers de l'abaissement total de pression, tandis que la pression au niveau du pare-air augmentait de deux-tiers environ. (Contrairement à la figure 3, la mesure 0 Pa n'est pas au sommet du graphique.) Puisque l'écoulement augmentait de façon exponentielle en présence d'un écart de pression et que les surfaces de fuite du pare-air intérieur sont demeurées les mêmes, l'ajout d'orifices a probablement provoqué une augmentation de l'écoulement de l'air.

Condensation

De la condensation se formait presque toujours tard à l'automne et durant l'hiver sur le côté intérieur du placage de brique, principalement en raison de l'écoulement de l'air. La **figure 5** montre la température derrière le placage de brique relativement au point de rosée de l'air de la cavité et à la température de l'air extérieur. Au cours de cette période, la surface de la brique a constamment atteint une température sous le point de rosée, conséquence de la présence de condensation. Lorsque l'air extérieur atteignait une température supérieure au point de rosée de la cavité (par temps sec par exemple), malgré l'augmentation de la température du point de rosée de la cavité, la brique atteignait toujours une température inférieure.

Figure 5 : Températures du côté intérieur du placage de brique, de l'air extérieur et du point de rosée de la cavité

Courbe 1 : (courbe supérieure au jour 0 et à la plupart des autres jours) température du point de rosée de la cavité
Courbe 2 : température derrière la maçonnerie
Courbe 3 : (courbe inférieure au jour 0 et à la plupart des autres jours, dont trois pics traversent les deux autres courbes) température de l'air extérieur



La situation était la même pour le côté arrière du revêtement et pour le point de rosée de l'air de l'espace des poteaux. La température de la partie la plus froide des poteaux, le bord extérieur, était toujours supérieure au point de rosée de l'air de l'espace des poteaux.
En revanche, le côté intérieur du revêtement à mi-chemin entre les poteaux atteignait toujours des températures inférieures au point de rosée. Apparues au bout d'un an, les moisissures présentes sur le côté intérieur du revêtement mural intermédiaire en sont une preuve additionnelle.

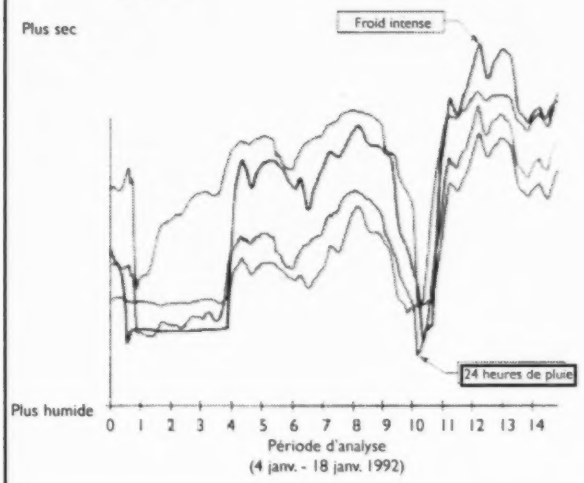
La condensation commençait généralement à se former derrière la brique, sur les attaches et sur le côté extérieur du revêtement lorsque la température passait sous 5 °C. De la condensation commençait également à se former du côté intérieur du revêtement lorsque la température extérieure chutait sous zéro.

Humidité

Les capteurs d'humidité ont permis de constater qu'en automne, en hiver et au printemps, le côté intérieur de la brique était assez détrempé, beaucoup plus que le côté extérieur. Par temps pluvieux, le côté extérieur devenait rapidement détrempé, mais s'asséchait presque aussitôt. Avant que les orifices d'aération soient pratiqués au sommet de la cavité, la performance du mur en matière d'infiltration de la pluie était satisfaisante. (Les orifices ont favorisé l'infiltration de pluie.) Malgré la construction adéquate et une assez bonne étanchéité du mur, les problèmes d'humidité étaient reliés aux fuites de l'air. La **figure 6** montre les quantités relatives d'humidité sur la

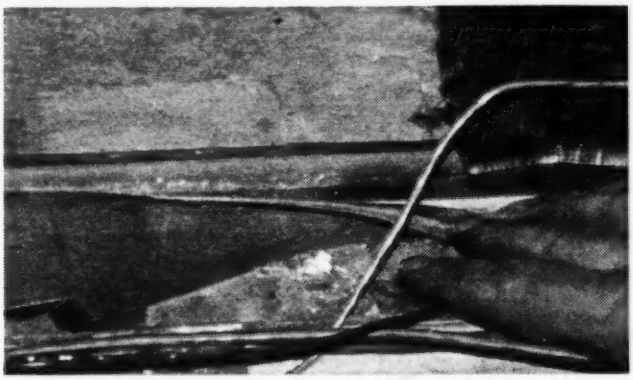
Figure 6 : Humidité relative de la maçonnerie

Courbe 1 : (courbe supérieure à gauche) extérieur de la brique près du sol
Courbe 2 : intérieur de la brique près du toit
Courbe 3 : extérieur de la brique près du toit
Courbe 4 : (courbe inférieure à gauche) intérieur de la brique près du sol



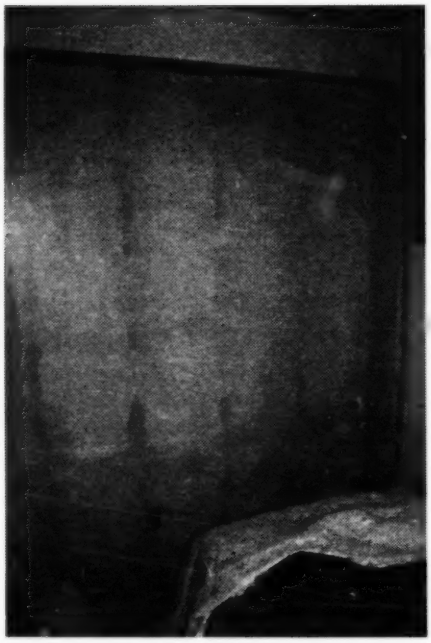
maçonnerie, les surfaces intérieure et extérieure, à divers endroits près de la dalle du toit et au sol. Pour mieux interpréter le graphique, il faut savoir qu'en cas de gel de l'humidité, le capteur enregistre à tort des données similaires à conditions de sécheresse. Selon le côté du placage de brique que l'on souhaite étudier, la température extérieure ou la température du revêtement dans la **figure 2** témoignent de ce phénomène.

Photographie 4 : Isolant taché par la poussière
Preuve non équivoque de la présence de fuites d'air : l'isolant est taché par la poussière



Photographie 6 : Moisissures sur le côté intérieur du revêtement mural intermédiaire
Lorsque le mur a été ouvert, des moisissures étaient visibles sur le côté intérieur du revêtement intermédiaire – on les voit ici à mi-hauteur et, de façon plus prononcée, à la base du mur.

La cavité ne s'asséchait pas par temps froid, car plus d'humidité parvenait à se condenser en raison des fuites de l'air intérieur que l'évaporation et l'aération pouvaient en éliminer. Durant la saison hivernale, lors d'un cycle de gel et de dégel, la surface derrière la brique est demeurée détrempée. L'ajout d'orifices d'aération a permis à une plus grande quantité d'humidité d'entrer dans la cavité et a nui à son assèchement. La brique n'était pas détrempée uniformément – le côté extérieur s'asséchait, mais la cavité et la surface derrière la brique s'asséchaient uniquement durant l'été et elles étaient détrempées le reste de l'année.



Photographie 5 : Poteaux tachés par la poussière
Ponts thermiques : durant l'hiver, la température des surfaces intérieures près des poteaux est inférieure à la température dans l'espace des poteaux. Les surfaces plus froides attirent plus facilement la poussière, ce qui a provoqué les taches visibles sur la photo.

Observations visuelles

En mars 1994, on a ouvert le mur de l'intérieur pour procéder à l'inspection visuelle des composants dans l'espace des poteaux. Une petite ouverture a été pratiquée dans le revêtement extérieur pour inspecter l'arrière de la brique. On a fait les observations suivantes :

- Une absence de gel et d'humidité de surface sur la brique qui semblait assez sèche.
- Le papier de construction et le revêtement extérieur étaient très détrempés et on a constaté la présence importante de moisissures sur le côté intérieur du revêtement, près du sol particulièrement.
- L'isolant en contact avec le revêtement extérieur était détrempé.
- Une corrosion minimale de l'ossature. Présence d'oxydation par le zinc (rouille blanche) et de signes d'humidité périodique sur le rail inférieur. Ailleurs, la rouille était présente uniquement sur les bords coupés, les têtes de vis et les rognures.

Conséquences pour le secteur du logement

La principale constatation de l'étude est la performance insatisfaisante du mur d'essai, bien qu'il ait été construit en conformité avec les normes, les méthodes et les codes de construction courants. Les ponts thermiques près des poteaux et la perte de chaleur attribuables aux fuites de l'air ont réduit la résistance thermique de la structure. L'accumulation d'humidité, causée principalement par l'écoulement de l'air, risque fort probablement de provoquer la détérioration prématurée de la brique, des attaches, du revêtement et même de l'ossature. La teneur en humidité sur le côté extérieur du revêtement a atteint des niveaux qui, à la longue, en provoqueraient l'affaiblissement et favoriseraient la formation de moisissure. L'humidité sur la brique n'était pas distribuée uniformément. Sur le côté intérieur, la quantité d'humidité formée durant les conditions de gel était suffisante pour provoquer de l'écaillage dans la cavité. Ces constatations permettent de conclure que pour offrir un rendement à long terme satisfaisant, la conception des murs OA/PBr doit être améliorée, quelle que soit la qualité de la construction. Les améliorations suivantes, peu importe la qualité de l'exécution, devraient être apportées à la conception du mur d'essai :

- Isolation suffisante à l'extérieur du revêtement de plâtre, dans la cavité, pour que la température du revêtement soit supérieure au point de rosée de l'air intérieur (ce qui réduira par le fait même, les ponts thermiques près de l'ossature).
- Amélioration de l'étanchéité à l'air pour réduire les pertes de chaleur possibles et la condensation sur la maçonnerie
- Augmentation de la profondeur minimale de la cavité pour favoriser le drainage et l'assèchement
- Amélioration de l'aération de la cavité (en prévenant toutefois l'infiltration de la pluie)

Directeur de projet : Jacques Rousseau

Consultant : Keller Engineering Associates

Recherche sur le logement à la SCHL

Aux termes de la partie IX de la *Loi nationale sur l'habitation*, le gouvernement du Canada autorise la SCHL à consacrer des fonds à la recherche sur les aspects socio-économiques et techniques du logement et des domaines connexes, et à publier et diffuser les résultats.

Le présent feuillet documentaire fait partie d'une série visant à vous informer sur la nature et la portée du programme de recherche de la SCHL.

Les feuillets documentaires de la série **Le point en recherche** comptent parmi les diverses publications sur le logement produites par la SCHL.

Pour recevoir la liste complète de la série **Le point en recherche**, ou pour obtenir des renseignements sur la recherche et l'information sur le logement de la SCHL, veuillez vous adresser au :

Centre canadien de documentation sur l'habitation
Société canadienne d'hypothèques et de logement
700, chemin de Montréal
Ottawa (Ontario) K1A 0P7

Téléphone : 1 800 668-2642
Télécopieur : 1 800 245-9274

NOTRE ADRESSE SUR LE WEB : www.cmhc-schl.gc.ca

Bien que ce produit d'information se fonde sur les connaissances actuelles des experts en habitation, il n'a pour but que d'offrir des renseignements d'ordre général. Les lecteurs assument la responsabilité des mesures ou décisions prises sur la foi des renseignements contenus dans le présent ouvrage. Il revient aux lecteurs de consulter les ressources documentaires pertinentes et les spécialistes du domaine concerné afin de déterminer si, dans leur cas, les renseignements, les matériaux et les techniques sont sécuritaires et conviennent à leurs besoins. La SCHL se dégage de toute responsabilité relativement aux conséquences résultant de l'utilisation des renseignements, des matériaux et des techniques contenus dans le présent ouvrage.